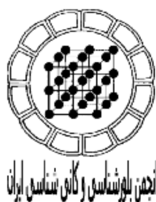
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۲۹۱ تا ۳۰۴



زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین شیمی کانسار چندفلزی چومالو، شمالغرب زنجان

محیا نظریان*[1]، محمد لطفی[1]، مجید قاسمی‌سیانی[2]

۱- پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و پی جویی معدنی کشور، تهران، ایران

۲-گروه زمین شیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۹/۶)

چکیده: کانسار چندفلزی چومالو در بخش غربی کمربند ماگمایی البرز (البرز-آذربایجان) قرار دارد و رخنمون‌های سنگی آن شامل الیوین‌بازالت، آندزیت‌بازالتی، آندزیت تا تراکی‌آندزیت، داسیت تا ریولیت به سن ائوسن پیشین و توده نفوذی با ترکیب کوارتزمونزونیت به سن ائوسن پسین هستند. کانه‌زایی منطقه در دو روند شرقی-غربی و شمالی- جنوبی تا شمالغرب- جنوب‌شرقی در سنگ میزبان آندزیتی و الیوین بازالتی رخ داده است. کانه‌زایی به صورت رگه و رگچه‌ای، پراکنده، پرکننده فضای خالی به شکل درون‌زاد و برون‌زاد طی سه مرحله رخ داده است. کانی‌های باطله بیشتر کوارتز و فلوئوریت هستند. بررسی‌های زمین شیمیایی همبستگی مثبت بین عناصر سرب و روی، نقره با سرب و روی، مس با سرب و روی را در منطقه چومالو نشان می‌دهد که با نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی و توالی همبرزایی همخوانی دارد. با توجه به سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساخت و بافت می‌توان گفت که کانه‌زایی کانسار چندفلزی چومالو شباهت بسیاری به ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی متوسط دارد.

واژه‌های کلیدی: *کانه‌زایی؛ فراگرمایی؛ چندفلزی؛ سولفیدشدگی متوسط؛ چومالو؛ کمربند ماگمایی البرز.*

مقدمه

از دیدگاه زمین‌ساخت جهانی، سرزمین ایران در بخش میانی کوهزاد آلپ-هیمالیا قرار دارد. پیدایش این کمربند در ارتباط با بسته‌شدن دریای تتیس در دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک در نتیجه حرکت رو به شمال صفحه‌های آفریقایی، عربی و هند و برخورد با صفحه اوراسیایی است [۱، ۲]. ذخایر فراگرمایی- پورفیری در ایران در ارتباط با فعالیت ماگمایی سنوزوئیک هستند و به طور عمده در راستای کمربند ماگمایی ارومیه- دختر [۳]، البرز شرقی درکمربند ماگمایی ترود- چاه‌شیرین [۴، ۵] و البرز غربی در پهنه طارم- هشتجین [۶-۱۲] تشکیل شده‌اند (شکل ۱ الف). رخداد توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی با ماهیت آهکی قلیایی تا قلیایی به سن ائوسن پسین، سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری سازند کرج و معادل آن [۱۳] به همراه رخدادهای متنوع عناصر فلزی و غیرفلزی (مس، طلا، آهن، سرب و روی) و وجود دگرسانی‌های گسترده چون سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک حدواسط و پیشرفته، آلونیتی و پروپیلیتیک موجب شده تا ایالت فلززایی طارم- هشتجین از دیدگاه کانه‌زایی و زمین‌شناسی اقتصادی همواره جزو مناطق مستعد برای ردیابی رخدادهای مختلف معدنی باشد (شکل ۱ ب) [۸، ۱۴-۱۶]. در ایالت فلززایی طارم- هشتجین، توده‌های نفوذی مونزونیتی تا کوارتزمونزونیتی به واحدهای آتشفشانی- آذرآواری ائوسن را مورد هجوم کرده و منجر به ساختارهای طاقدیس مانند و همچنین شکستگی‌های فراوان در آنها شده‌اند. این شکستگی‌ها محل مناسبی برای گردش و نفوذ محلول‌های گرمابی هستند و باعث دگرسانی گسترده همراه با کانه‌زایی رگه‌ای در منطقه شده‌اند. کانسار چندفلزی چومالو در ۷۰ کیلومتری شمال‌غرب زنجان، با مختصات ″۴۱ '۱۲°۴۸ طول شرقی و ″۳۲ '۰۸°۳۷ عرض شمالی، در ۳ کیلومتری

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۴۵۹۴۷۲، نمابر: ۸۶۱۹۲۳۷۵-۰۲۱، پست الکترونیکی: mahya.nazarian72@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

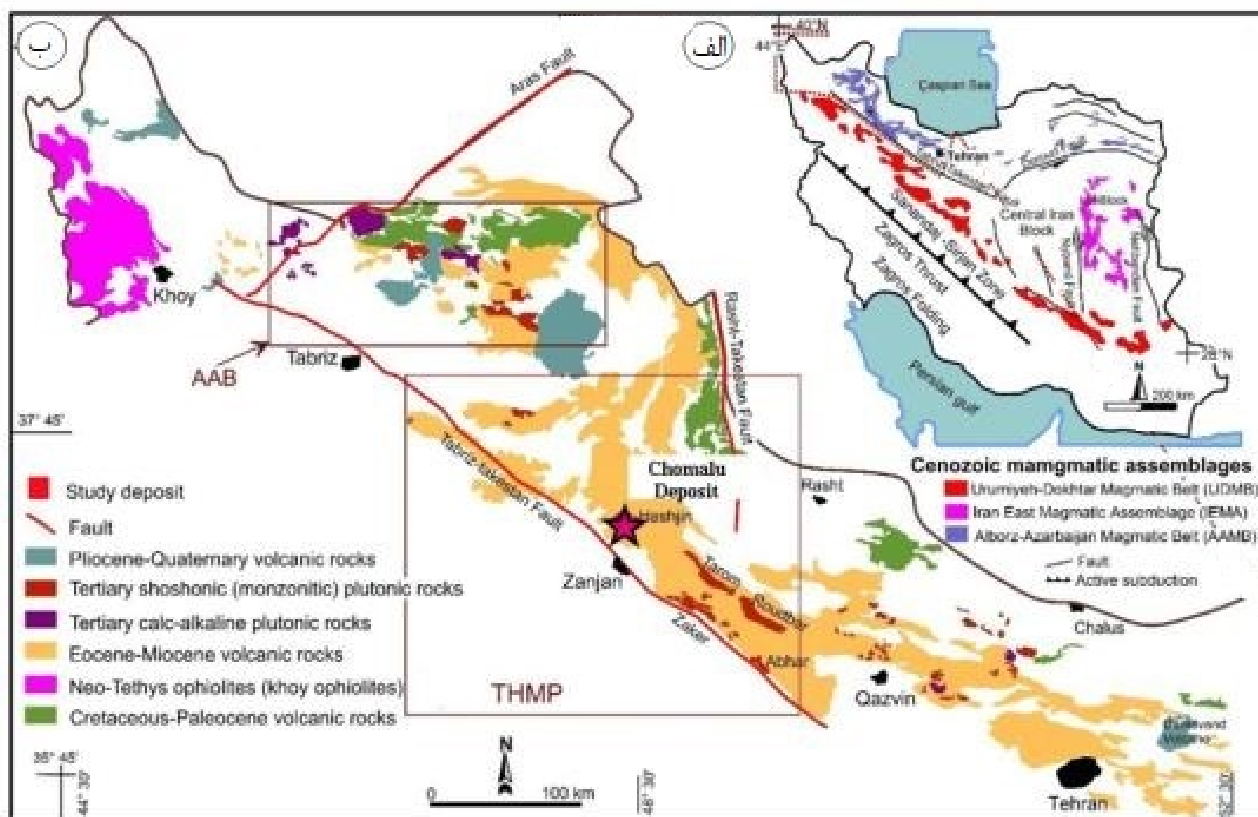
شمال‌شرقی روستای آغچه‌قلعه و نزدیک به روستای داش‌بلاغ قرار دارد. بازدیدهای صحرایی، بررسی های میکروسکوپی و همچنین نتایج تجزیه نمونه‌های کانه‌زایی نشان می‌دهند که کانه‌زایی در منطقه چومالو شامل سرب و روی است که با عناصر مس، طلا و نقره همراهی می‌گردد. کانی‌سازی چندفلزی چومالو درست در محل توده کوارتزمونزونیتی ورمرزیار تشکیل شده و تاکنون در مورد خاستگاه این کانسار بررسی انجام نشده است. با توجه به نزدیکی این منطقه به توده ورمرزیار، در این پژوهش براساس بازدیدهای صحرایی، کانه‌نگاری و داده‌های زمین شیمیایی، خاستگاه و ارتباط و همبستگی میان عناصر در منطقه کانسار چومالو بررسی شده است.

روش بررسی

براساس داده‌های برآمده از بازدید صحرایی، واحدهای سنگی منطقه شناسایی و ارتباط بین کانه‌زایی و سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی مشخص گردید. در این راستا، ۵۰ مقطع صیقلی برای کانه نگاری و ۴۰ مقطع نازک-صیقلی از سنگ میزبان، مناطق دگرسان و کانی‌سازی شده تهیه و در پژوهشکده سازمان زمین‌شناسی و پی جوییات معدنی کشور بررسی شدند. همچنین تعداد ۱۱ ترانشه پی جویی حفر شده بر رگه‌های معدنی موجود در منطقه کانسار با مجموع اندازه طولی ۷۹۸ متر بررسی و نمونه‌برداری شدند که سرانجام برای بررسی زمین شیمیایی کانسنگ، ۱۰۰ نمونه از ۱۵۰ نمونه برداشت شده به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه زرآزما زنجان آزمایش شدند.

زمین‌شناسی کانسار

در ایالت فلززایی طارم-هشتجین، جایگیری توده‌های نفوذی کلسیمی- قلیایی با پتاسیم بالا به سن الیگوسن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نقش اساسی در رخداد کانه‌زایی‌های فلزی مختلف و دگرسانی‌های گسترده داشته‌اند [۹، ۱۷، ۱۸]. ترکیب سنگ‌شناسی غالب در ایالت فلززایی طارم-هشتجین شامل توف، آندزیت، بازالت، آندزیت-بازالت، تراکی‌آندزیت، ریولیت و داسیتی و توده‌های نفوذی مونزونیتی تا کوارتزمونزونیتی است.



شکل ۱ الف) پراکندگی سنگ‌های آذرین سنوزوئیک در ایران، ب) نمایش واحدهای سنگی در کمربند ماگمایی البرز-آذربایجان، موقعیت کمربند اهر-ارسباران و ایالت فلززایی طارم- هشتجین و موقعیت کانسار چومالو (ستاره صورتی رنگ) در این ایالت [۶].

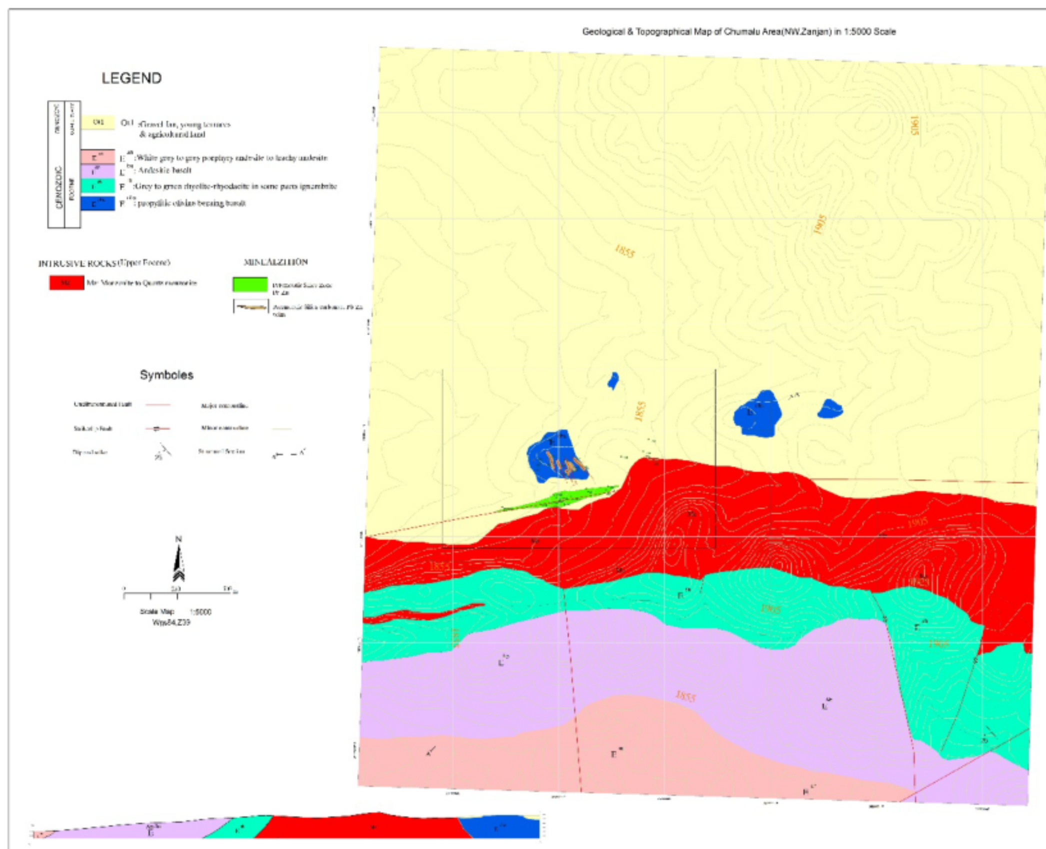
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ [۱۹] و بررسی رخنمون واحدهای سنگی در کانسار چومالو، این منطقه از دیدگاه ساختار و زمین‌شناسی نوعی طاقدیس برگشته است. رخنمون‌های سنگی موجود در کانسار چومالو شامل نهشته‌های آتشفشانی با روند تقریبی شمال غرب-جنوب‌شرقی و شیب به سمت جنوب‌غرب با سن ائوسن، از الیوین‌بازالت، آندزیت‌بازالتی، آندزیت تا تراکی‌آندزیت و داسیت تا ریولیت تشکیل شده‌اند که واحد نفوذی با ترکیب کوارتزمونزونیت تا کواتزمونزودیوریت با سن ائوسن پسین به آن هجوم کرده و آن را قطع کرده‌اند (شکل ۲). در ادامه، واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ شرح داده شده‌اند.

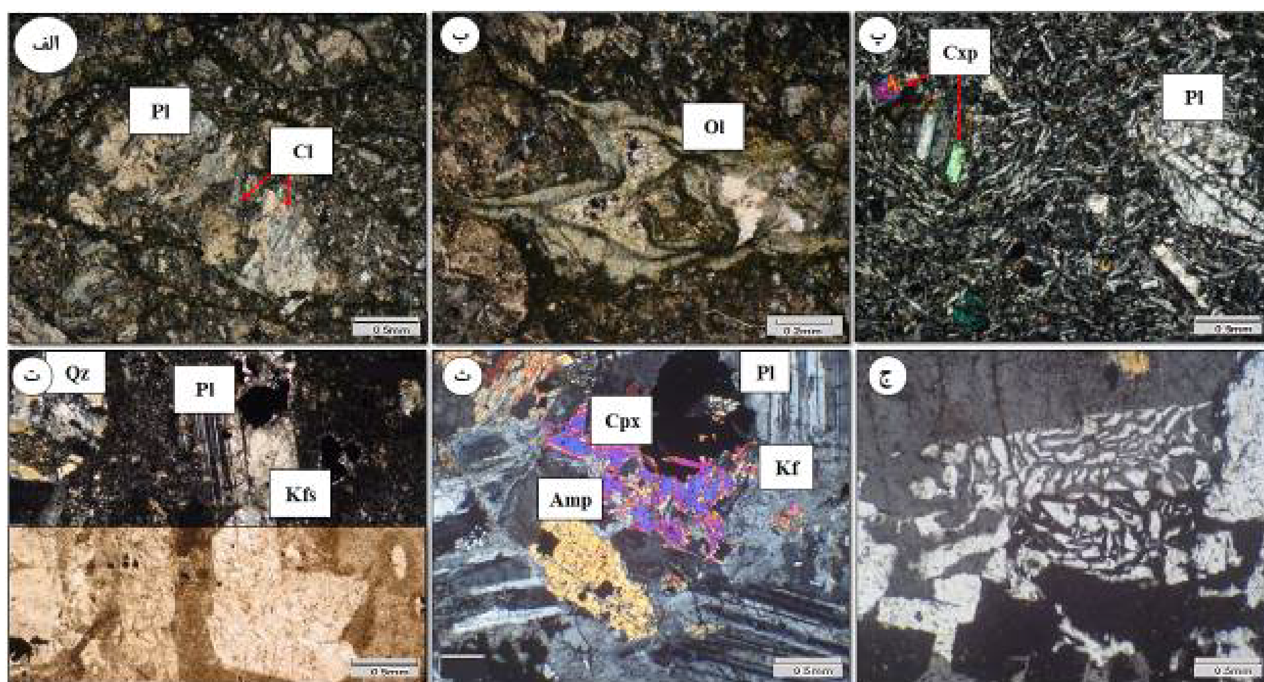
واحد الیوین بازالت: واحد الیوین بازالت به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره میزبان رگه‌های شمالی-جنوبی کانه‌دار در منطقه پی جوییی هستند که با واحد نفوذی قطع شده است. بر اساس مقاطع نازک مورد بررسی، این واحد دارای بافت پورفیریتی همراه با درشت بلورهای الیوین و پلاژیوکلاز است. بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار اغلب دچار دگرسانی‌های کلریتی و سریسیتی شده‌اند (شکل ۳ الف). در نمونه‌های مورد بررسی، گاهی شبه ریخت‌های الیوین نیز حضور دارند که با کلریت و کلسیت و گاه کانی‌های کدر جایگزین شده‌اند (شکل ۳ ب).

واحد آندزیت تا تراکی‌آندزیت: این واحد میزبان رگه معدنی سولفیدی-سیلیسی بوده (شکل ۴ الف) و با توده نفوذی کوارتزمونزونیتی قطع شده است. این واحد دارای بافت پورفیریتی تا تراکیتی همراه با درشت بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز در یک زمینه شیشه‌ای بوده (شکل ۳ پ) که در نتیجه نفوذ توده نفوذی دچار دگرسانی پروپیلیتی شده است.

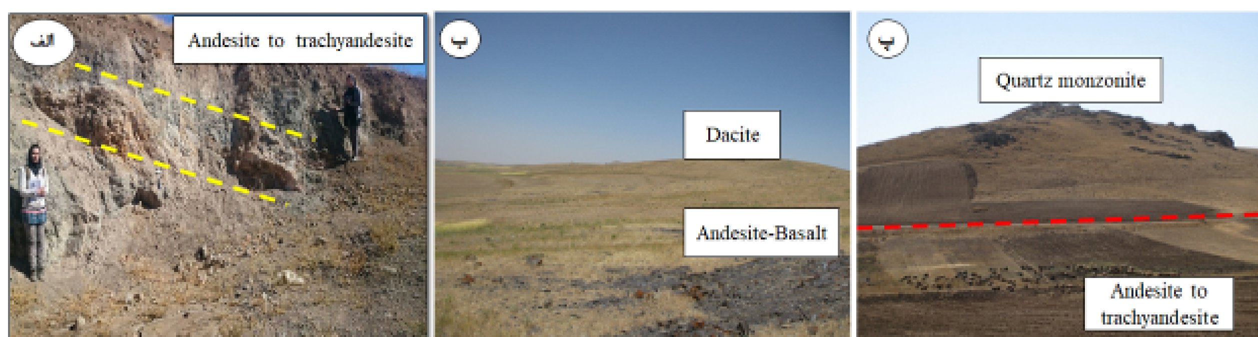
واحد داسیت تا ریولیت: واحد داسیتی-ریولیتی به رنگ خاکستری روشن زیر رخنمون آندزیت‌بازالتی قرار دارد (شکل ۴ ب). این واحد دارای بافت هیالوفیری با منشورهای پلاژیوکلاز با ترکیب آلبیت-الیگوکلاز و سانیدین است. همچنین فلدسپات پتاسیمی و کوارتز در یک زمینه شیشه‌ای و فلسیتی دیده شدند (شکل ۳ ت).



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی کانسار چومالو با مقیاس ۱:۵۰۰۰ [۱۹].



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های تشکیل دهنده واحدهای سنگی در کانسار چومالو: الف) بافت پورفیریتی همراه با درشت بلور پلاژیوکلاز و اثر دگرسانی پروپیلیتی و کربناتی بر آن در واحد الیوین بازالتی، ب) نمایی از درشت بلور اولیوین واپاشی شده در واحد الیوین‌بازالتی، پ: بافت پورفیریتی و درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در واحد آندزیتی، ت) درشت بلورهای پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیمی و کوارتز در واحد داسیتی، ث) درشت بلورهای فلدسپار پتاسیمی، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول در واحد مونزوسینیت و ج) بافت گرانوفیری، نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز [۲۰] برگرفته شده‌اند.



شکل ۴ تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی در کانسار چومالو: الف) رخنمون واحد آندزیتی همراه با رگه سیلیسی، ب) رخنمون و ارتباط واحد آندزیت‌بازالتی و واحد داسیتی و پ) برخوردگاه واحد آندزیتی تا تراکی آندزیتی با توده کوارتز مونزونیتی و موقعیت رگه سیلسیسی چندفلزی (خط چین قرمز) ، دید به سمت جنوب.

واحد نفوذی: واحد نفوذی دارای گستره تغییرات از کوارتزمونزونیت تا کوارتز مونزودیوریت است. این واحد جوانتر از سنگ‌های آتشفشانی است و آنها را قطع می‌کند. مرز توده کوارتزمونزونیتی با واحد آندزیتی گسلی (راستالغز-راستگرد) دیده می‌شود که همراه با گسترش رگه سولفیدی-سیلیسی و کانه‌زایی چندفلزی در کانسار چومالو است (شکل ۴ پ). این واحد بیشتر دارای بافت پورفیری و زمینه ریزدانه‌ای همراه با بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، فلدسپارپتاسیمی، آمفیبول و بیوتیت است (شکل ۳ ث). در برخی نمونه‌های مورد بررسی، کوارتز در نتیجه هم‌رشدی با فلدسپات پتاسیمی و پلاژیوکلاز بافت گرانوفیری ایجاد کرده است (شکل ۳ ج) [۲۱].

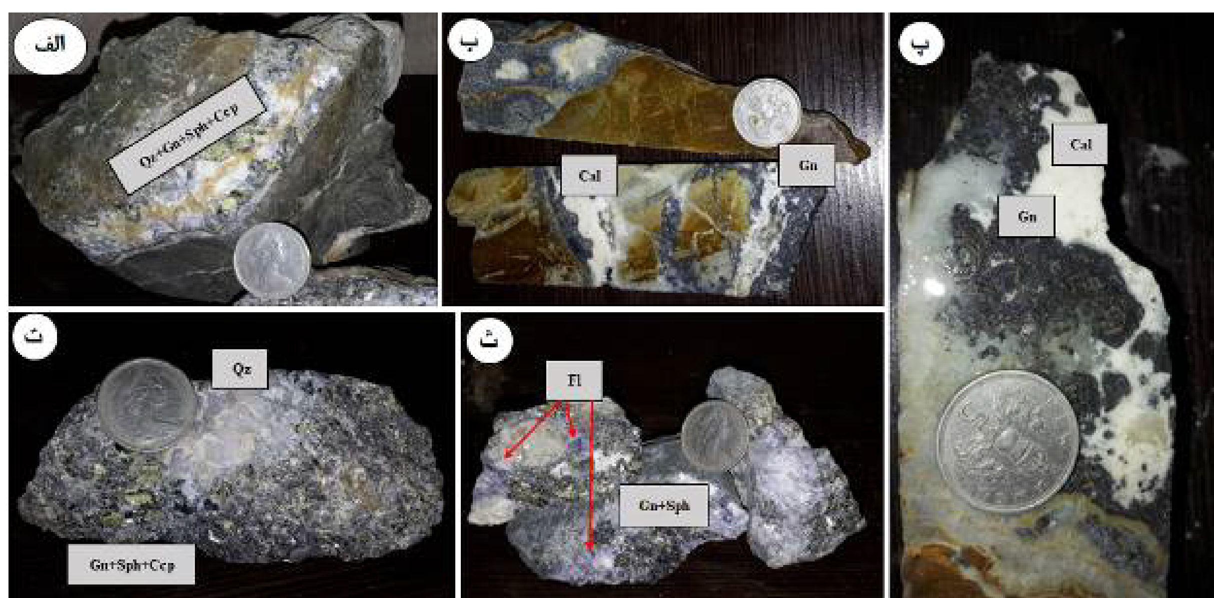
کانه‌زایی، ساخت و بافت و توالی همزادی

در بررسی ساختاری، حضور دو گسل با روند N70E با عملکرد راستگرد (در منطقه) و N60E با عملکرد چپگرد (خارج از

منطقه مورد بررسی) نقش اصلی در رخداد و گسترش کانه‌زایی در منطقه داشته است. عملکرد گوه‌ای این دو گسل موجب تشکیل دسته درزه‌ها و گسل‌های فرعی کششی با سوی غالب N-S (N20E تا N30W) در منطقه کانسار چومالو گردیده است. سامانه‌های گسلی فرعی در واقع گسل‌های جدا شده از سامانه گسلی اصلی نام برده هستند. کانه‌زایی در منطقه معدنی چومالو شامل یک پهنه کوارتز-سولفیدی با روند شرقی- غربی با ضخامت میانگین ۱۰ متر و طولی بیش از ۶۰۰ متر همراه با کانی‌سازی مس (۰/۳درصد)، طلا (۲/۳ گرم بر تن)، سرب (۵/۵ درصد)، روی (۳ درصد) با سنگ میزبان آندزیت تا تراکی‌آندزیت (شکل ۵ الف) و یک پهنه به صورت پنج رگه معدنی با روند تقریبی شمالی-جنوبی تا شمال‌غرب-جنوب‌شرق با میزبان الیوین بازالتی همراه با کانه‌زایی سرب و روی (بیش از ۱۰ درصد)، نقره (۳۵۰ گرم بر تن) و به مقدار کمتر مس است (شکل ۵ ب). کانه‌زایی در منطقه مورد بررسی به صورت رگه و رگچه‌ای (شکل ۶ الف)، پرکننده فضای خالی (شکل ۶ ب)، گل کلمی (شکل ۶ پ) همراه با باطله کوارتز (شکل ۶ ت)، بلورهای فلوریت بنفش (شکل ۶ ث) و گاه کلسیت (شکل ۶ پ) گسترش یافته است.



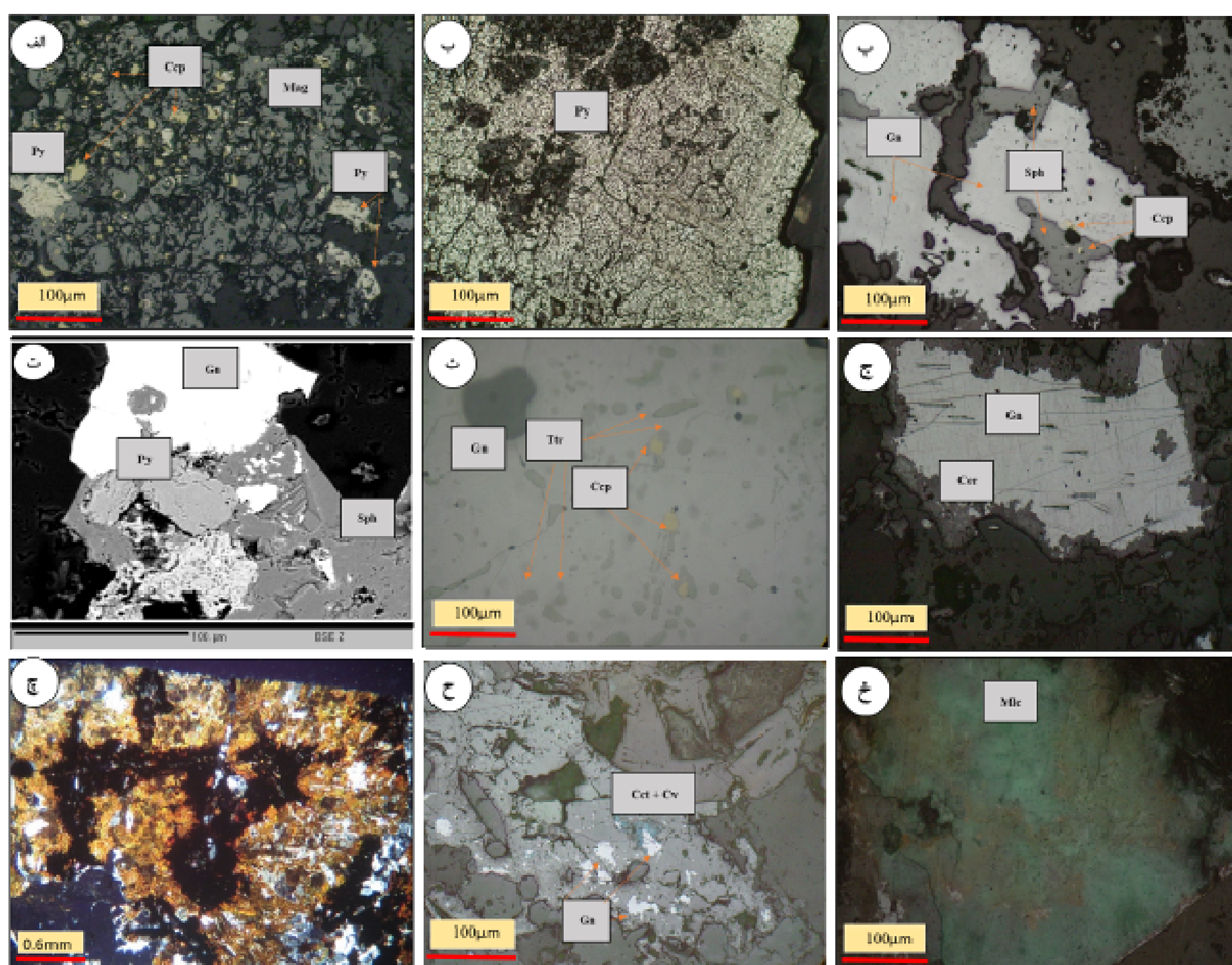
شکل ۵ الف) نمای رگه چندفلزی با روند شرقی-غربی تا شمال‌شرق-جنوب‌غرب، دید به سمت شمال، ب) نمای کلی از برونزد رگه شمالی-جنوبی، دید به سمت شرق.



شکل ۶ انواع بافت، کانی‌های معدنی و باطله در کانسار چومالو: الف) کانه‌زایی گالن، اسفالریت و کالکوپیریت به صورت رگه‌ای در باطله کوارتز، ب) بافت پرکننده فضای خالی، پ) کانه‌زایی گالن به صورت گل کلمی همراه با کلسیت، ت) کانه‌زایی گالن، اسفالریت و کالکوپیریت همراه با باطله کوارتز، ث) کانه‌زایی گالن و اسفالریت همراه با فلوریت (Qtz: کوارتز، Fl: فلوئوریت ، Cal: کلسیت، Gn: گالن، Sph: اسفالریت، Ccp: کالکوپیریت [۲۰]).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

بر اساس بازدیدهای صحرایی در منطقه کانسار چومالو، برخاستگی توده‌های نفوذی موجب گسیختگی و خردشدن واحدهای سنگی آتشفشانی و آذرآواری و همچنین پدیداری مجراهای عبور سیال‌های کانه‌دار و سرانجام دگرسانی‌ها و کانه‌زایی‌های سرب و روی همراه با مس، طلا و نقره شده است. کانی‌سازی در کانسار چندفلزی چومالو در سه مرحله صورت گرفته است. مرحله نخست کانی‌سازی با ته‌نشست کوارتز همراه است. در این مرحله کانه‌زایی مگنتیت به صورت توده‌ای در سطح نمونه دیده می‌شود. کانی سولفیدی اولیه مس بیشتر به-صورت کالکوپیریت همراه با پیریت و مگنتیت در این فاز حضور دارد (شکل ۷ الف). بلورهای پیریت در زمینه سنگ به صورت توده‌ای، پراکنده و گاه به صورت هم‌رشدی دیده شدند (شکل-های ۷ الف و ب). مرحله دوم کانه‌زایی به دو زیر مرحله تقسیم می‌شود. زیرمرحله نخست با کانه‌زایی گالن، اسفالریت، تتراهدریت و به مقدار کمتر پیریت و کالکوپیریت همراه است. گالن مهمترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار چندفلزی چومالو است و بیشتر به صورت توده‌ای، گل کلمی و گاه رگه-رگچه اغلب با رخ‌های مثلثی همراه با اسفالریت دیده می‌شود. اسفالریت به صورت توده‌ای، هم‌رشد و گاه میانبار در گالن با بازتاب درونی سبز تا زرد عسلی وجود دارد (شکل ۷ پ).



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی مراحل کانه‌زایی در کانسار چومالو: الف) کانه‌زایی مگنتیت همراه با پیریت و کالکوپیریت در مرحله نخست، ب) هم‌رشدی پیریت در مرحله نخست کانه‌زایی، پ) کانه‌زایی اسفالریت و گالن و میانبار کالکوپیریت در گالن و اسفالریت در مرحله دوم (زیر مرحله نخست)، ت) کانه‌زایی گالن، اسفالریت و میانبار پیریت در زیرمرحله نخست، ث) میانبار تتراهدریت در گالن و میانبار کالکوپیریت در تتراهدریت در مرحله دوم (زیرمرحله نخست)، ج) جانشینی گالن با سروزیت در لبه در مرحله سوم کانه‌زایی، چ) تشکیل کربنات روی شامل اسمیت‌زونیت در مرحله سوم، ح) جانشینی گالن با کوولیت و کالکوسیت و خ) کانه‌زایی مالاکیت. (Mag: مگنتیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Ttr: تتراهدریت، Fl: فلوریت ، Gn: گالن، Sph: اسفالریت، Cer: سروزیت، Cct: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Mlc: مالاکیت [۲۰]).

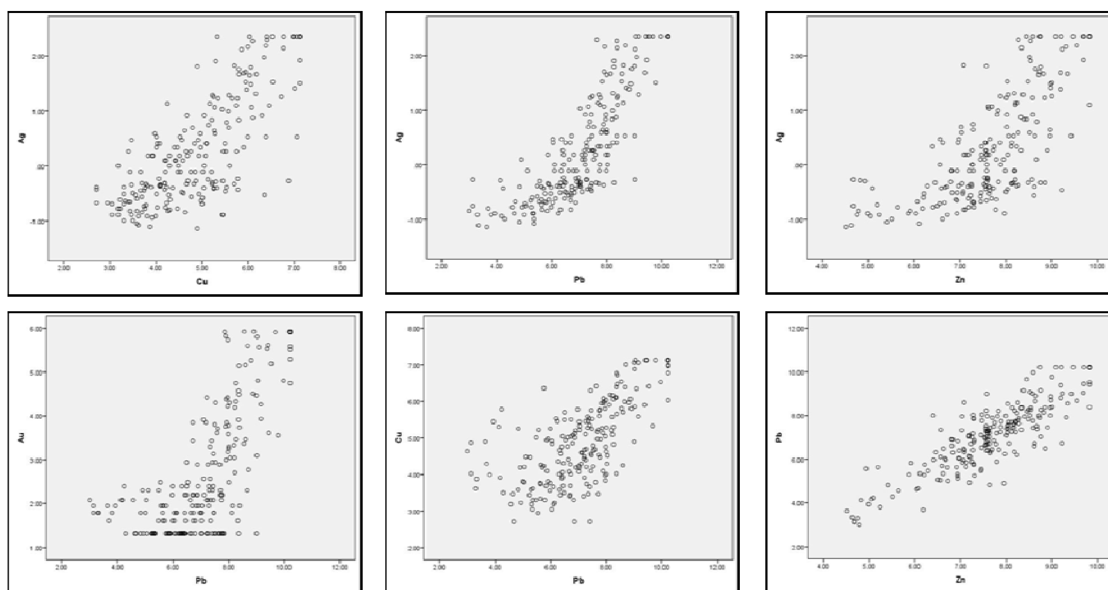
حضور میانبار اسفالریت در گالن و بر عکس و همچنین تشکیل اسفالریت در کنار گالن نشان دهنده تشکیل همزمان این دو کانی است. کالکوپیریت همچنین در بخش‌هایی به صورت میانبار درون کانی‌های گالن و اسفالریت دیده می‌شود که نشان دهنده جانشینی این کانی با کانی‌های سولفیدی مرحله بعد است (شکل ۷ پ). در بخش‌هایی، پیریت به صورت میانبار درون کانی‌های گالن و اسفالریت وجود دارد (شکل ۷ ت). در زیر مرحله نخست وجود سولفوسالت تتراهدریت همراه با گالن و اسفالریت غالب است. تتراهدریت اغلب به‌صورت میانبار در گالن و اسفالریت دیده می‌شود. درون برخی از تتراهدریت‌ها نیز میانبارهایی از کالکوپیریت وجود دارد (شکل ۷ ث). کوارتز مهمترین باطله همراه با زیرمرحله نخست است. زیرمرحله دوم با کانه‌زایی گالن، اسفالریت همراه با فلوئوریت و کوارتز و نبود کانه‌زایی تتراهدریت شناخته شده است. مرحله پایانی (مرحله سوم) با کانی‌سازی گسترده کربنات‌های سرب، روی، آهن و منگنز از جمله سروزیت، اسمیت‌زونیت، سیدریت و مگنزیت (شکل‌های ۷ ج و چ) و کانه‌های مالاکیت، آزوریت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت و هماتیت در بخش‌های سطحی همراه است. پیرامون بلورهای گالن، کوولیت به صورت برونزاد تشکیل شده است (شکل ۷ ح). در بیشتر نمونه‌ها، مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت در سطح نمونه دیده می‌شود (شکل ۷ خ). کوارتز و فلوئوریت و به مقدار کمتر کلسیت کانی‌شناسی اصلی باطله را در کانسار چومالو تشکیل می‌دهند. کوارتز باطله اصلی است که تقریباً در همه مراحل دیده می‌شود. بلورهای کوارتز ریز تا درشت بلور به صورت توده‌ای، رگه‌ای و حفره‌ای رخ داده‌اند (شکل‌های ۶ الف و ت). فلوریت به صورت بلورهای درشت بیشتر در زیرمرحله دوم همراه با گالن و اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۶ ث). گاهی کلسیت نیز به عنوان باطله همراه با کانه‌زایی وجود دارد (شکل ۶ پ). سرانجام بر اساس ارتباط رگه‌ها و کانی‌ها با هم توالی همزادی در کانسار چومالو رسم شد (شکل ۸).

شکل ۸ توالی همزادی در کانسار چندفلزی چومالو.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

زمین شیمی

شکل ۹ همبستگی بین عناصر کانسارساز در منطقه کانسار چومالو را نشان می‌دهد. بر این اساس، ارتباط و همبستگی قوی بین عناصر طلا با سرب، مس با سرب، سرب با روی، نقره با سرب، روی و مس وجود دارد. همچنین در جدول ۱ ضریب همبستگی اسپیرمن در کانسار چومالو آورده شده است. بر این اساس، بیشترین همبستگی بین عناصرسرب و نقره با مقدار ۰٫۸، سرب و روی با مقدار ۰٫۸ و نقره با آنتیموان با مقدار ۰٫۸ وجود دارد. همبستگی بالای سرب، روی، نقره و آنتیموان در بررسی های کانی‌نگاری نیز تایید شد، به طوری که میانبارهای تتراهدریت در گالن و اسفالریت، میانبارهای اسفالریت در گالن و گالن در اسفالریت دیده شد. همچنین جانشینی نقره در گالن با توجه به نزدیک بودن شعاع یونی این دو عنصر امکان پذیر است که مقدار جانشینی به حضور عناصر واسطی چون آنتیموان و بیسموت نیز بستگی دارد. نقره همچنین با سایر عناصر ازجمله مس و آنتیموان نیز همبستگی بالایی دارد. مس با عناصر سرب، آنتیموان و روی همبستگی مثبت (۰٫۶) دارد. وجود میانبارهای کالکوپیریت در کانی‌های گالن، اسفالریت و تتراهدریت در بررسی های میکروسکوپی می‌تواند همبستگی مثبت بین مس و سرب، روی و نقره را در منطقه چومالو توجیه کند. با توجه به نزدیکی شعاع یونی آرسنیک به مس افزایش آرسنیک با افزایش این عنصر همراه است. مولیبدن نیز بیشتر با سرب و روی همراه است. افزون بر آن، بیشترین همبستگی طلا با عناصر نقره، سرب، روی و مس است. همبستگی بالای طلا با سرب، روی و نقره می‌تواند نشان دهنده شرایط مشابه تشکیل و نهشت همزمان طلا و عناصر سرب، روی و مس باشد. همراهی فلزهای گرانبها با فلزهای پایه از نشانه‌های کانسارهای فراگرمایی با سولفیدشدگی متوسط تا پایین است [۲۲].



شکل ۹ نمودارهای ضریب همبستگی بین عناصر اصلی کانه‌ساز در کانسار چومالو.

جدول ۱ ضریب همبستگی اسپیرمن برای عناصر ردیاب و معرف کانه زایی در کانسار چندفلزی چومالو.

	Au	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Sb	Zn
Au	۱									
Ag	۰٫۵۶	۱								
As	۰٫۳۹	۰٫۴۲	۱							
Cu	۰٫۴۵	۰٫۷۴	۰٫۶۲	۱						
Fe	۰٫۳۱-	۰٫۴۱-	۰٫۲۹	۰٫۱۳-	۱					
Mn	۰٫۱۰-	۰٫۲	۰٫۰۳-	۰٫۰۱-	۰٫۲۱	۱				
Mo	۰٫۴۶	۰٫۵۵	۰٫۱۲	۰٫۳۳	۰٫۴۵-	۰٫۲۵	۱			
Pb	۰٫۶۷	۰٫۸۵	۰٫۳۵	۰٫۶۷	۰٫۴۳-	۰٫۲۳	۰٫۶۳	۱		
Sb	۰٫۵۹	۰٫۸۳	۰٫۴۱	۰٫۶۷	۰٫۴۲-	۰٫۲۲	۰٫۴۵	۰٫۷۸	۱	
Zn	۰٫۴۷	۰٫۷۳	۰٫۳۶	۰٫۶۸	۰٫۲۴-	۰٫۲۴	۰٫۴۶	۰٫۸۲	۰٫۶۴	۱

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

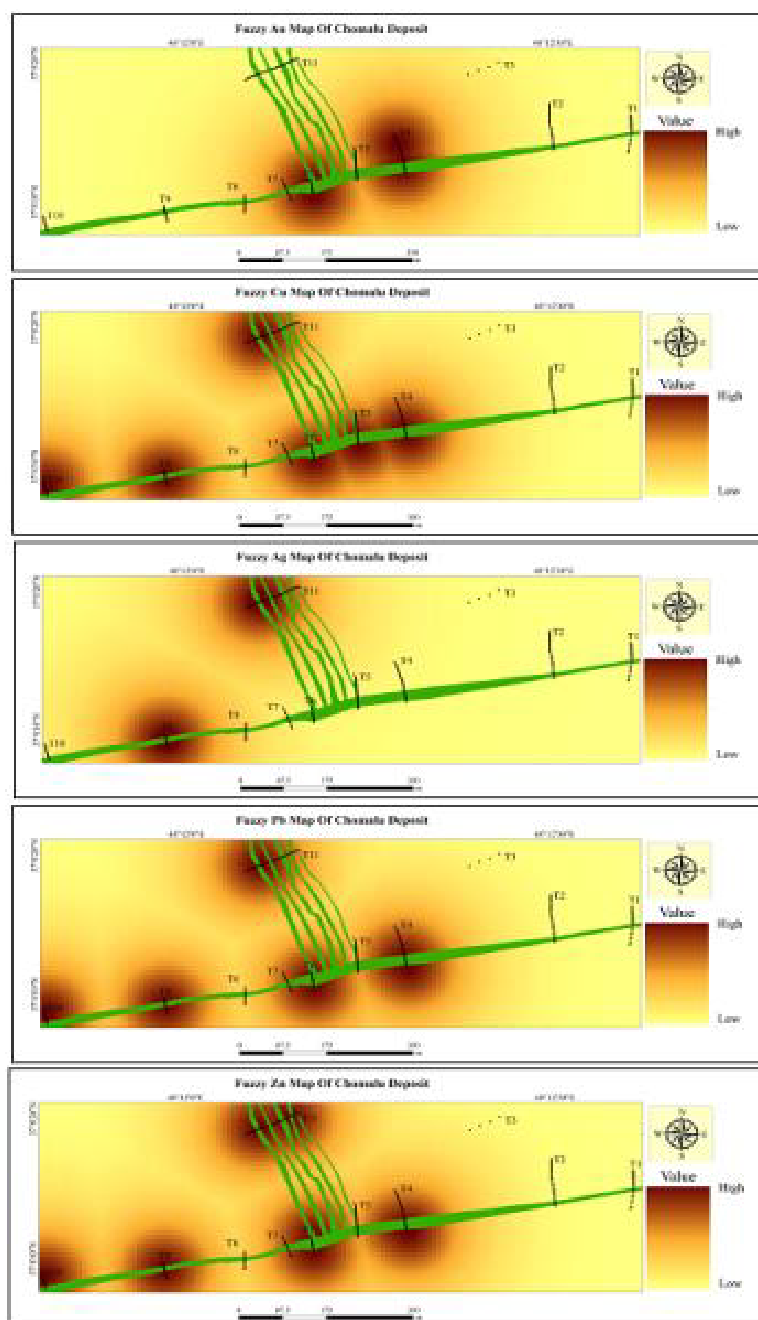
بحث و بررسی

منطقه‌بندی زمین شیمیایی در کانسار چومالو

فازی‌سازی داده‌های پی جویی به منظور رسم و درجه‌بندی مناطق پتانسیل‌دار برای پی جویی بیشتر ماده معدنی انجام شد. در تولید مناطق هدف با مقیاس محلی یا کوچک، بیشترین بخش و یا مکان پتانسیل‌دار در گستره پتانسیل ماده معدنی تعیین می‌شود. این روش بیشترین رخنمون ماده معدنی مورد پیجویی را بر اساس داده‌های زمین شیمیایی (جدول ۲) در طول رگه‌های معدنی نشان می‌دهد. برای تولید این لایه از نتایج اکتشافی، از نمونه‌های کانی‌سازی برداشت شده در طول ترانشه پی جویی حفر شده بر رگه‌های معدنی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ استفاده شد (شکل ۱۰). بر اساس شکل ۱۰، طلا در طول رگه شرقی-غربی همراه با مس، سرب و روی در نتیجه تزریق سیال کانه‌ساز درون شکستگی ایجاد شده و در واحد آندزیتی نهشت کرده است. در ادامه با توجه به تحرک بیشتر و حمل شدن عناصر سرب، روی و نقره با کمپلکس‌های کلریدی، در نتیجه تشکیل رگه‌های فرعی (شمالی-جنوبی) شرایط مناسبی برای انتقال و نهشت عناصر نام برده در طول این رگه‌ها فراهم شده و سبب گردیده است تا رگه‌های فرعی سرب، روی و نقره ناهنجاری بیشتری را نشان دهند. با توجه به بررسی های کانی‌شناسی، توالی همبرزایی و نقشه ناهنجاری ارائه شده، می‌توان نتیجه گرفت که طلا همراه با سرب، روی و مس در نتیجه واکنش سیال کانه‌زا با سنگ میزبان و تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی محیط (پتانسیل Eh و درجه اسیدی اکسایش کاهش pH)، در طول رگه اصلی (شمال شرقی-جنوب غربی) نهشت یافته و در ادامه در نتیجه تشکیل گسل‌های فرعی، سیال دربردارنده عناصر پایه با تحرک بالاتر (سرب و روی و نقره) در راستای این گسل‌ها حرکت نموده و نهشت پیدا کرده‌اند. به طور کلی، گسل‌های اصلی و فرعی در کانسار محل انتقال محلول‌های کانه‌دار و در نتیجه تشکیل کانسار چومالو هستند. این الگوی منطقه‌بندی با سامانه‌های ارائه شده برای ذخایر فراگرمایی همخوانی دارد [۲۳].

جدول ۲ میانگین نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر برای نمونه‌های برداشت شده در طول ترانشه‌های حفاری شده در کانسار چندفلزی چومالو.

عنصر	یکا	DL	T1	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Au	ppb	۵	۶	۶	۳۵	۱۰۸	۳۵	۲۳	۵۲	۲۲۷۱	۲۴	۶۸	۳۰۷
Ag	ppm	۰	۱	۰	۱	۳	۱	۴	۴	۲۹	۵	۳	۱۲
Al	ppm	۱۰۰	۶۸۵۹۱	۷۸۳۳۵	۶۶۳۳۲	۵۶۹۱۴	۷۱۷۹۶	۷۸۷۰۲	۳۶۹۳۰	۵۷۱۵۲	۵۳۹۴۸	۶۳۳۹۶	۲۷۲۳۲
As	ppm	۱	۲۰	۲۱	۲۴	۲۷	۳۱	۶۱	۳۳	۳۲	۳۸	۲۹	۵۴
Ba	ppm	۵	۷۸۰	۶۱۷	۶۷۷	۵۸۹	۷۹۰	۳۲۳	۴۶۷	۴۹۰	۶۸۴	۵۹۶	۲۲۵
Be	ppm	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۲	۴	۲	۳
Ca	ppm	۱۰۰	۳۰۷۲۸	۴۹۹۷۴	۳۳۴۲۴	۵۲۷۲۴	۲۷۹۲۲	۴۷۳۹۲	۳۷۶۵۵	۵۰۹۱۹	۴۴۳۲۱	۲۶۰۷۵	۱۸۰۷۸
Cd	ppm	۰	۲	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۱۴	۷	۲	۲
Ce	ppm	۱	۷۵	۴۳	۸۲	۶۹	۶۸	۲۷	۳۵	۴۹	۴۲	۵۲	۲۶
Co	ppm	۱	۸	۱۴	۶	۵	۸	۲۶	۶	۹	۹	۱۲	۴
Cr	ppm	۱	۱۶	۲۳	۱۹	۱۶	۱۷	۳۳	۲۲	۳۴	۲۰	۳۸	۱۸
Cu	ppm	۱	۷۴	۳۴	۸۵	۲۵۵	۱۴۷	۲۴۸	۲۲۸	۱۹۰۶	۸۵۲	۲۱۰	۴۶۹
Fe	ppm	۱۰۰	۲۶۳۵۸	۳۶۸۰۸	۲۳۲۴۶	۲۰۴۴۵	۲۷۷۳۲	۵۶۱۸۱	۲۰۲۱۹	۲۵۹۴۴	۲۹۴۳۸	۳۴۲۸۲	۱۲۶۷۴
K	ppm	۱۰۰	۴۵۳۲۸	۲۰۴۹۱	۴۹۰۳۷	۳۹۹۶۱۱	۴۳۷۴۸	۸۹۹۷	۲۲۲۷۳	۲۸۹۵۶	۲۲۸۶۴	۳۳۹۰۰	۱۱۳۶۹
La	ppm	۱	۳۷	۱۹	۳۹	۳۴	۳۳	۱۲	۱۸	۲۴	۲۲	۲۴	۱۴
Li	ppm	۱	۱۴	۲۰	۱۳	۱۹	۱۸	۳۳	۳۷	۲۱	۲۲	۲۴	۶۰
Mg	ppm	۱۰۰	۴۲۹۰	۱۱۰۳۸	۳۳۵۱	۲۱۴۰	۴۳۰۳	۱۵۴۷۳	۵	۵۹۹۳	۴۶۰۳	۶۳۷۶	۱۴۶۲
Mn	ppm	۵	۵۹۹۹	۲۸۴۳	۲۵۳۴	۳۶۸۵	۵۳۹۶	۳۳۹۶	۲۹۲۶	۲۶۴۹	۴۵۹۸	۳۴۴۵	۱۳۵۱
Mo	ppm	۱	۲	۱	۶	۳۹	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۳
Na	ppm	۱۰۰	۴۷۸۴	۲۴۲۱۴	۳۶۳۴	۱۹۲۵	۴۷۱۴	۱۸۱۲۳	۲۲۶۳	۶۸۸۶	۲۰۰۸	۷۱۰۰	۴۷۶
Ni	ppm	۱	۷	۱۳	۹	۷	۶	۱۳	۷	۱۱	۶	۱۴	۷
P	ppm	۱۰	۵۳۸	۸۶۶	۵۱۷	۵۵۲	۶۲۹	۷۸۹	۴۳۵	۷۳۹	۶۷۹	۶۸۷	۵۱۹
Pb	ppm	۱	۸۱۷	۲۴۵	۱۳۵۰	۳۵۲۷	۲۱۲۸	۹۸۲	۳۳۰۳	۵۱۸۴	۴۸۹۲	۱۹۲۴	۸۰۵۶
S	ppm	۵۰	۸۹	۱۳۳	۱۰۶	۲۵۹	۱۰۰	۲۶۱	۱۷۷	۱۸۰	۲۷۹	۱۳۹	۲۹۸
Sb	ppm	۱	۱۳	۶	۱۴	۲۹	۴۱	۱۴	۴۷	۲۶	۳۸	۳۳	>۱۰۰
Sc	ppm	۱	۷	۱۹	۶	۵	۹	۲۶	۵	۹	۹	۱۰	۴
Sr	ppm	۲	۲۰۹	۳۱۲	۱۷۵	۱۵۴	۱۷۷	۲۷۲	۱۳۵	۳۲۰	۱۴۷	۲۴۱	۶۵
Th	ppm	۱	۲۹	۱۶	۲۹	۲۶	۲۷	۹	۱۶	۱۸	۲۰	۲۱	۹
Ti	ppm	۱۰	۳۱۵۱	۴۸۳۹	۳۲۳۰	۲۵۵۸	۳۴۳۸	۵۴۷۴	۱۸۶۵	۲۹۵۰	۲۸۳۸	۳۳۶۰	۱۲۹۲
U	ppm	۵	۵	۵	<۵	<۵	<۵	۵	۵	<۵	<۵	<۵	<۵
V	ppm	۱	۵۹	۱۵۴	۵۵	۴۷	۶۲	۲۴۳	۱۶۵	۲۰۲	۳۴۴	۱۱۵	۳۱۹
Y	ppm	۱	۲۴	۲۰	۲۴	۲۴	۲۲	۱۸	۱۴	۱۹	۲۳	۲۰	۱۲
Yb	ppm	۰	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۲
Zn	ppm	۱	۱۸۹۵	۸۲۵	۱۹۹۸	۳۹۰۷	۲۶۱۱	۲۰۶۵	۳۲۲۰	۶۷۷۱	۵۷۹۸	۲۷۵۷	۸۵۷۲
Zr	ppm	۵	۱۱۴	۳۳	۱۰۶	۹۵	۵۹	۳۸	۲۴	۳۹	۲۴	۴۲	۱۵



شکل ۱۰ نقشه ناهنجاری عناصر کانه‌ساز در کانسار چندفلزی چومالو با استفاده از روش فازی.

رده‌بندی کانسار

ذخایر فراگرمایی سولفیدشدگی بالا اغلب در سنگ میزبان آندزیتی تا ریوداسیت و ذخایر سولفیدشدگی پایین در سنگ میزبان بازالتی و ریولیتی تشکیل می‌شوند [۲۴]. کانسارهای فراگرمایی غنی از فلزهای پایه-نقره، ارتباط فضایی و مکانی نزدیکی با فعالیت‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی عمیق دارند؛ به طوری که سنگ میزبان این ذخایر را واحدهای آندزیتی، داسیت تا ریوداسیت و ریولیت با ترکیب آهکی قلیایی تشکیل می‌دهند [۲۵]. واحدهای آتشفشانی ائوسن با ترکیب الیوین‌بازالت، آندزیت‌بازالتی، آندزیت تا تراکی‌آندزیت، داسیت تا ریولیت توالی چینه‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند که در این واحدها، توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتزمونزونیت، مونزوسینیت و همچنین کوارتزمونزودیوریت تزریق شده‌اند. کانی‌شناسی در کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی بالا

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

دربردارنده کانی‌های انارژیت و لوزونیت، در ذخایر غنی از فلزهای پایه-نقره (ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی حدواسط) شامل مجموعه کانی‌های سولفیدی پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت-تنانتیت، اسفالریت و گالن و در ذخایر با سولفیدشدگی پایین شامل گالن و اسفالریت است [۲۴]. کانه‌زایی در منطقه چومالو متشکل از رگه‌های چندفلزی با کانی‌سازی گالن، اسفالریت، تتراهدریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت تشکیل شده است. کانی سازی بالای سرب و روی، همچنین وجود کربنات‌های سرب و روی به صورت گسترده در کانسار چومالو از مشخصه‌های بارز ذخایر فراگرمایی حدواسط است. با توجه به نظر هدنکویست [۲۴] و لیندگرن [۲۶]، بافت پرکننده فضای خالی مربوط به عمق متوسط و بافت قشرگون- گل کلمیی در ارتباط با محیط‌های کم عمق است [۲۶،۲۴]. با توجه به بافت کانه‌ها در کانسار چومالو که به صورت توده‌ای، پرکننده فضای خالی، رگه و رگچه‌ای، گل کلمی به همراه رگه‌های سیلیسی و گاه بلورهای فلوریت بنفش و در ارتباط با سامانه‌های شکستگی در منطقه گسترش یافته است، می‌توان نتیجه گرفت که این کانسار در عمق کم تا متوسط تشکیل شده است. همچنین حضور باطله کوارتز، فلوریت و به مقدار کمتر کلسیت می‌تواند در ارتباط با ذخایر فراگرمایی سولفیدشدگی متوسط باشد [۲۷]. کانی‌شناسی در منطقه چومالو نشان داد که کانی‌های گالن و اسفالریت با مقدار آهن پایین و تتراهدریت تشکیل شده‌اند که از کانی‌های سولفیدشدگی حدواسط محسوب می‌شوند و در کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی متوسط غالب هستند. افزون بر این، نبود آلونیت و آدولاریا نشان می‌دهد که این کانسار از کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی پایین و بالا رده‌بندی نمی‌شود. به طور کلی با توجه به کانه‌زایی گالن، اسفالریت، تتراهدریت، پیریت و کالکوپیریت به صورت رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و گل کلمی در سنگ میزبان الیوین بازالتی و آندزیتی همراه با باطله کوارتز، فلوریت و به مقدار کمتر کلسیت، همبستگی و همراهی فلزهای گرانبها با فلزهای پایه در بررسی های زمین شیمیایی و با توجه به ماهیت سیال-های درگیر [۲۹،۲۸]، رخداد معدنی چومالو را می‌توان در ردیف ذخایر فراگرمایی فلزهای پایه (نقره) در نوع سولفیدشدگی متوسط تقسیم‌بندی کرد [۳۰-۳۲]. در جدول ۳، ویژگی‌های کانسار چومالو با چند نمونه از ذخایر سولفیدشدگی متوسط در پهنه طارم-هشتجین و یک نمونه در مکزیک مقایسه شده است که رده‌بندی کانسار مورد بررسی را در ذخایر فراگرمایی با سولفیدشدگی متوسط تایید می‌کند.

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار چومالو با برخی از کانسارهای فراگرمایی فلزهای پایه (نقره) نوع حدواسط در مکزیک و ایران.

نام کانسار	Cobre-Babilonia	شاه-علی بیگلو	گلوجه	چومالو
موقعیت	منطقه تکسو مکزیک	شمال زنجان	شمال زنجان	شمال‌غرب زنجان
سنگ میزبان	ریولیت، داسیت، آندزیت	آندزیت، آندزی بازالت، قلیایی بازالت	ریوداسیت، داسیت، تراکی آندزیت	آندزیت تا تراکی آندزیت، الیوین بازالت
سن سنگ میزبان	الیگوسن	ائوسن	ائوسن-الیگوسن	ائوسن
کنترل کننده کانه زایی	گسل‌های عادی	گسل‌های عادی	گسل‌های نرمال	گسل‌های نرمال
فلزات اصلی	روی، سرب، مس ± نقره، طلا	روی، سرب، مس (نقره)	طلا، سرب، روی، مس ± نقره ± آهن	سرب، روی، مس، نقره ± طلا
کانه‌زایی	پیریت، پولونیوم، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، تتراهدریت-تنانتیت	اسفالریت (آهن پایین)، گالن، کالکوپیریت، تتراهدریت-تنانتیت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، تتراهدریت-تنانتیت	گالن، اسفالریت (آهن پایین)، کالکوپیریت، تتراهدریت
بافت ماده معدنی	رگه و رگچه، برشی، پوسته‌ای، پرکننده فضا خالی	رگه و رگچه، برشی، پراکنده، پوسته‌ای، جانشینی، شانه‌ای	رگه و رگچه، پرکننده فضا خالی، جانشینی و برشی	رگه و رگچه، پراکنده، پرکننده فضا خالی
باطله	----------------	کوارتز	کوارتز و کلسیت	کوارتز، فلوریت، کلسیت
مرجع	[۲۹]	[۳۲]	[۳۳]	[۲۰]

برداشت

بر پایه بازدید صحرایی، شواهد زمین‌شناسی و بررسی های میکروسکوپی سنگ میزبان، کانه‌زایی در کانسار چومالو شامل واحد الیوین بازالتی و آندزیت تا تراکی‌آندزیتی است که طی فرآیندهای گرمابی در نتیجه چرخش سیال کانه‌ساز در طول یک رگه اصلی با روند N70E و چند رگه فرعی با روند شمال غرب-جنوب شرق رخ داده است. وجود بافت حفره‌ای سیلیس، پرکننده فضای خالی در کلسیت و وجود فلوریت نشان‌دهنده حضور محلول‌های گرمابی در منطقه است. کانه‌زایی در کانسار چومالو به صورت سرب و روی همراه با مس، نقره و طلا رخ داده است. کانه‌های اصلی شامل کانه‌های سولفیدی گالن، اسفالریت، تتراهدریت، پیریت و کالکوپیریت و کانه‌های درونزاد سروزیت، اسمیت‌زونیت، مگنزیت، مالاکیت، آزوریت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت و هماتیت هستند. کانه‌زایی کانسار چومالو و اغلب ذخایر و نشانه‌های معدنی در پهنه طارم-هشتجین ناشی از فرآیندهای گرمابی هستند که با سامانه‌های گسلی کنترل شده‌اند. ساختارهای گسلی راه‌های مناسب برای انتقال و ته‌نشست مواد معدنی هستند. براساس شواهدی چون بازدیدهای صحرایی، هندسه، سنگ میزبان، ترکیب کانی‌شناسی، ساخت و بافت در کانسار چومالو، این رخداد معدنی را می‌توان در ردیف کانسارهای فراگرمایی فلزهای پایه نوع سولفیدشدگی متوسط تقسیم‌بندی کرد. بررسی کانسار چومالو و سایر ذخایر مشابه در این پهنه می‌تواند به شناسایی و پی جویی سایر ذخایر مشابه منجر شود.

قدردانی

مولفین این مقاله صمیمانه از راهنمایی و حمایت‌های بی دریغ کلیه مسئولین، کادر اداری و آزمایشگاهی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور بویژه جناب آقایان دکتر جعفر عمرانی، دکتر حسن سبحانی و جناب آقای مهندس علی‌اصغر صادقی کمال تشکر و قدردانی را می نمایند.

مراجع

[1] Metcalfe I., *"Gondwana dispersion and Asian accretion: tectonic and paleogeographic evolution of eastern Tethys",* Journal of Asian Earth Sciences 66 (8) (2013) 1-33.

[2] Stampfli G.M., Kozur H.W., *"Europe from the Variscan to the Alpine cycles",* Geological Society London Memoirs 32(1) (2006) 57-82.

[3] Richards J.P., *"Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision",* Ore Geology Review, 70 (2015) 323–345.

[4] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., *"Intermediate sulfidation epithermal Pb-Zn-Cu (±Ag-Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan Province, Iran",* Journal of Geological Society of India 80 (4) (2012) 563–578.

[5] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., Tale Fazel E., *"Structural Control on Epithermal Mineralization in the Troud-Chah Shirin Belt using point pattern and fry analyses, North of Iran",* Geotectonics 49 (4) (2015) 320–331.

[6] Aghajani S., Emami M.H., Lotfi M., Gholizadeh K., Ghasemi Siani, M., *"Source of polymetal epithermal veins at Nikuyeh district (West of Qazvin) based on mineralogy, alteration and fluid inclusion studies",* Journal of Geoscience. 25 (99) (2016) 157–168.

[7] Fayzi M., Ebrahimi M., Kouhestani H., Mokhtari, M.A.A., *"Geology, mineralization and geochemistry of Agh-Kand copper occurrence (north of Zanjan-Tarom-Hashtjin belt)",* Journal of Economic Geology, 8(2) (2017) 507–524.

[8] Ghasemi Siani M., Lentz D.R., Nazarian M., *"Geochemistry of igneous rocks associated with mineral deposits in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, NW Iran: An analysis of the controls on epithermal and related porphyry-style mineralization",* Ore Geology Review, 126 (2020) Article 103753.

[9] Kouhestani H., Mokhtari M, A. A., Changb Z., Johnson C. A., *"Intermediate sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran",* Ore Geology Reviews 93 (2018) 1–18.

[10] Saeedi A., Mokhtari A.A., Kouhestani H., *"Petrology and geochemistry of intrusive rocks at Khanchay-Aliabad region (Tarom sub-zone, East*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.6.9]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.291]

[19] Aghazadeh M., Barati B., *"Geological Map of Chomalu deposit, Scale 1:5000"*, 2017.

[20] Mikaeili Kh., Hosseinzadeh M, R., Moayyed M., Maghfouri S., *"The Shah-Ali-Beiglou Zn-Pb-Cu(-Ag) Deposit, Iran: An Example of Intermediate Sulfidation Epithermal Type Mineralization",* Minerals, 8 (4) (2018) 148.

[21] Rabiei-sadeghabadi A., Arab-Amiri A., Kamkkar-Rouhani A., Ebrahimi S., *"Geological and geophysical studies for exploration of lead and zinc in Chomalu area, northwest of Zanjan",* JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS, 5(2) (2018).

[22] Yilmaz H., Oyman T., Sonmez F. N., Arehart G.B., Billo Z., *"Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespih Dere (Lapseki/Western Turkey)",* Ore Geology Reviews 37 (3-4): (2010) 236–258.

[23] Sabeva R., Mladenova V., Mogessie A., *"Ore petrology, hydrothermal alteration, fluid inclusions, and sulfur stable isotopes of the Milin Kamak intermediate sulfidation epithermal Au-Ag deposit in Western Srednogorie, Bulgaria",* Ore Geology Review, 88 (2017) 400-415.

[24] Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzales Urien E., *"Exploration for epithermal gold deposit",* Review in Economic Geology, 13 (2000) 245-277.

[25] Simon S.F., White N.C., John D.A., *"Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposit",* Economic Geology, 29 (2005) 485-522.

[26] Lindgren W., *"A suggestion for the terminology of certain mineral deposits",* Economic Geology, v. 17 (4) (1922) 292-294.

[27] Taylor B.E., *"Epithermal gold deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada",* Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5 (2007) p. 113-139.

[28] Ghasemi Siani M., Mehrabi B., Nazarian M., Lotfi M., *"Geology and genesis of the Chomalu of Zanjan)",* Journal of petrology, 9 (33) (2018) 207-229.

[11] Salehi T., Ghaderi M., Rashid-Nejad Omran N., *"Mineralogy and geochemistry of Rear Earth Elements in the Gomish-Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit, SW ZanjaN",* Journal of Economic Geology, 2(2): (2011) 235–254.

[12] Yasami N., Ghaderi M., Madanipour S., Taghilou B., *"Structural control on overprinting highsulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran",* Ore Geology Review, 86: (2017) 212–224.

[13] Hirayama K., Samimi M., Zahedi M., Hushmand-Zadeh A., *"Geology of the Tarom District, Western Part (Zanjan area north-west Iran)",* Geological Survey of Iran, Tehran, Report 8 (1996) 40 pp.

[14] Aghajani S., Ghasemi Siani M., Emami M.H., Lotfi M., Gholizadeh K., *"Petrography, geochemistry, magmatic evolution and tectenomagmatic setting of igneous rocks associated with Nikuyeh epithermal mineralization (west of Qazvin)",* Kharazmi Journal of Earth Sciences, 6 (1) (2020) 1-20.

[15] Bazargani Guilani K., Parchekani M., *"Metalogenic Properties of Barik-Ab Pb-Zn (Cu) Ore Deposit with Acidic Tuff Host-Rock, west Central Alborz, (northwest) of Iran",* Journal of Geoscience, 20 (78) (2011) 97–104.

[16] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod N., Marsh E.E., *"Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran",* Ore Geology Review, 78 (2016) 41–57.

[17] Ebrahimi M., Kouhestani H., Shahidi E., *"Investigation on type and origin of iron mineralization at Mesgar occurrence, south of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data",* Journal of Economic Geology, 7(1) (2015) 111–12).

[18] Nabatian Gh., Ghaderi M., Rashid Nejad-Omran N., Daliran F., *"Geochemistry and genesis of Sorkheh-Dizaj iron oxide- apatite deposit, SE Zanjan",* Journal of Economic Geology, 1(1) (2010) 19–46

polymetallic deposit,NW Iran", 143 (2022) 104763.

[29] Nazarian M., Lotfi M., Gurabjeri A., Ghasemi Siani M., *"Study of genesis and fluid inclusion of polymetallic Chomalu epithermal deposit, NW Zanjan",* M.Sc. Thesis, Research Institute for Earth Science, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, (2018) 117 pp.

[30] Camprubí A., Albinson T., *"Epithermal Deposits in México—Update of Current Knowledge, and an Empirical Reclassification. Special Paper of the Geological Society of America"*, 422 (2007) 377–415.

[31] Kezhang Qin L.W., Song G., Li G., *"A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification",* Ore Geology Reviews 107 (2019) 434-456.

[32] Sillitoe R.H., Hedenquist J.W., *"Linkages between volcano-tectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits",* Society of Economic Geologist, .10 (2003) 315–343.

[33] Ghasemi Siani M., Mehrabi B., Azizi H., Wilkinson, C.M., Ganerod, M., *"Geochemistry and geochronology of the volcano-plutonic rocks associated with the Glojeh epithermal gold mineralization, NW Iran",* Open Geosciences. 7 (1) (2015) 207–222.